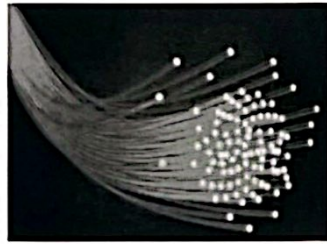


Optique géométriqueOG3 Quelques dispositifs optiques

I L'oeil :	3
1.) L'œil normal	3
2.) Les défauts de l'œil	5
II La fibre optique à saut d'indice.....	6
III L'appareil photographique	8
1.) Principe.....	8
2.) Profondeur de champ.....	9
3.) Divers paramètres	11



Une célèbre galaxie spirale du catalogue de Messier a été récemment scrutée par le télescope spatial James-Webb. L'image est fascinante par ce qu'elle nous montre de la structure interne de cette galaxie qui ressemble beaucoup à la nôtre.

Il y a moins d'une semaine, l'humanité découvrait, émerveillée, les toutes premières images de James-Webb, coup d'envoi de sa grande aventure scientifique. Quelques jours plus tard, c'était au tour de Jupiter d'être sa cible.

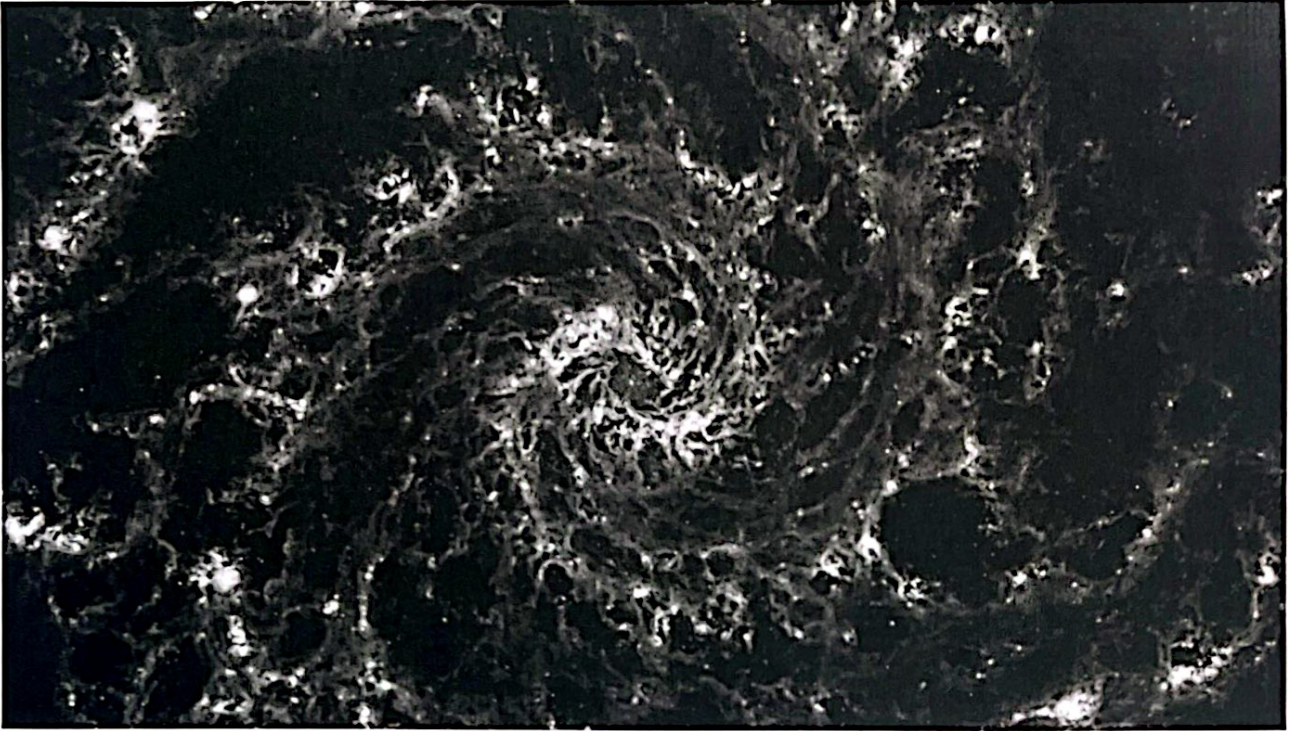
Un nouvel objet cosmique pour le moins iconique et bien connu des astronomes amateurs vient d'être observé par le puissant télescope : M74 *alias* Messier 74, connue aussi sous le surnom de la galaxie du fantôme, et NGC 628.

M74 est une magnifique galaxie spirale qui n'est pas sans rappeler la nôtre, la Voie lactée, par sa forme et ses dimensions (environ 95.000 années-lumière de diamètre) qui est située à environ 30 millions d'années-lumière de la Terre. Vue intégralement du dessus, elle est régulièrement visitée par les plus grands télescopes professionnels et les chercheurs curieux d'en apprendre plus sur ce qui se passe à l'intérieur et comment cela évolue.

L'image produite par les caméras de James-Webb est encore une fois stupéfiante par les détails qu'elle nous offre à voir de la partie centrale de cette galaxie qui compte quelque 100 milliards de masses solaires.

En réalité, nous découvrons la galaxie dénudée, un grand tourbillon de gaz et de poussière qui forme « son squelette », avec des poches de densité et des creux où la matière semble avoir été chassée, balayée. C'est fascinant de découvrir avec une vision aussi pénétrante les fondations d'une galaxie comparable à la nôtre, ses immenses matrices d'étoiles où se préparent les prochaines générations. Jamais, nous n'avions vu aussi bien l'envers du décor. Vivement la suite.

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/galaxie-cette-nouvelle-image-james-webb-donne-frissons-99722/> 23/7/2022



NASA / ESA / CSA / Judy Schmidt Juillet 2022

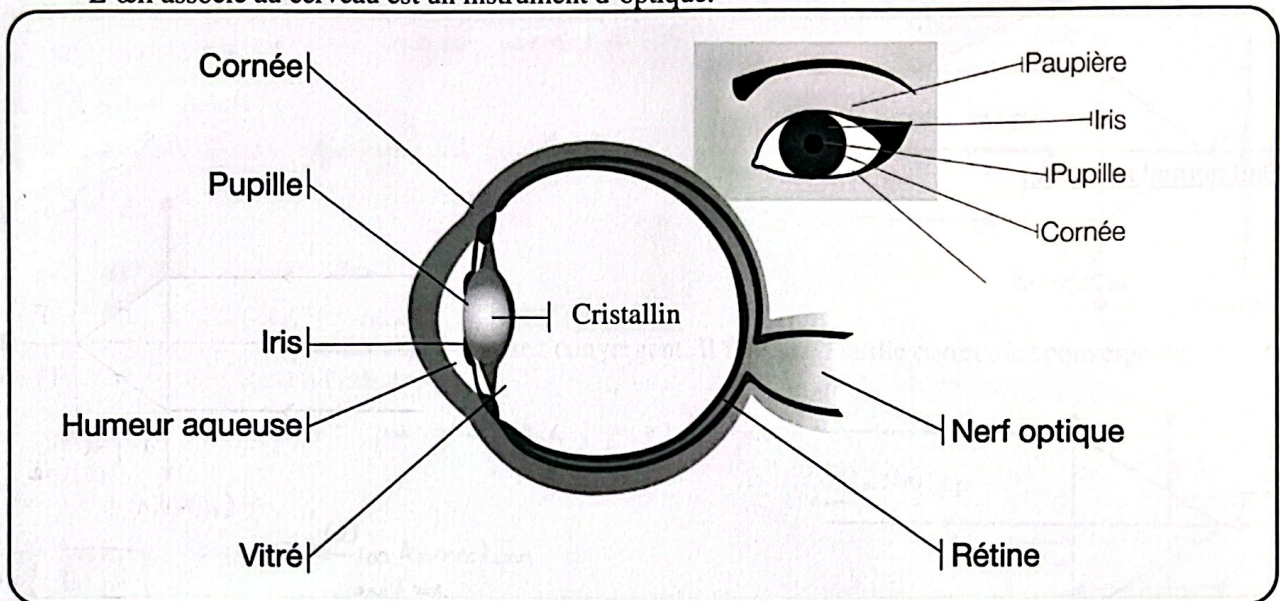


(NASA, ESA, Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration) 2007

I L'œil :

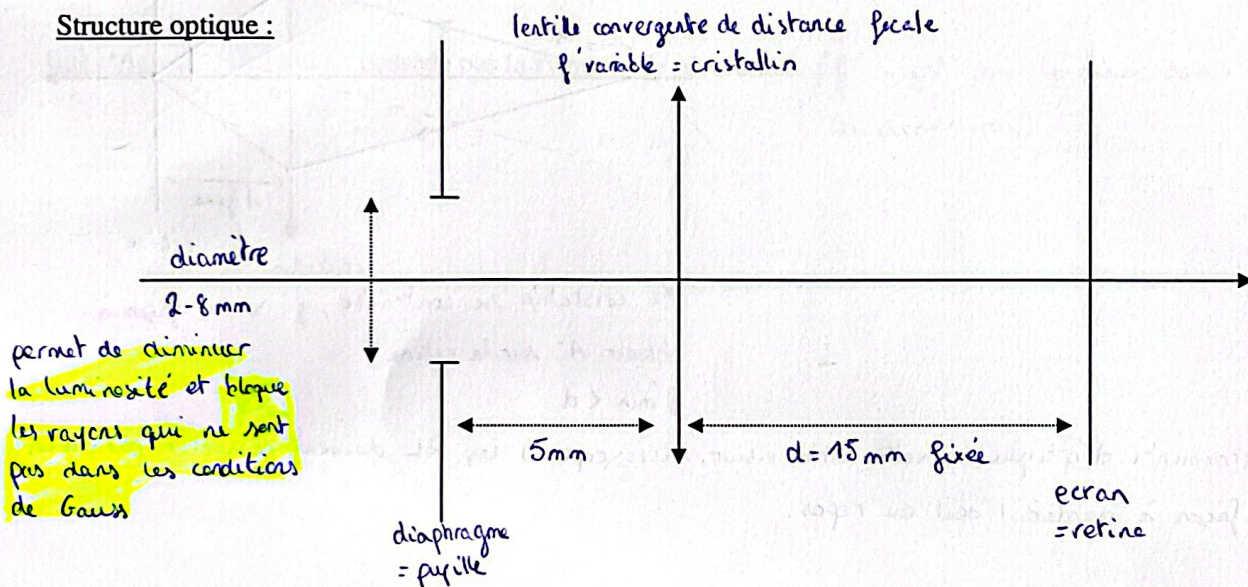
1.) L'œil normal

L'œil associé au cerveau est un instrument d'optique.



<https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/instruments/correction.php>

Structure optique :



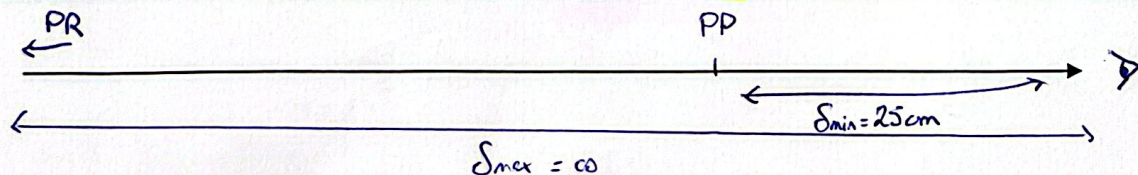
Pour l'œil, il y aura stigmatisme et aplanétisme approché.

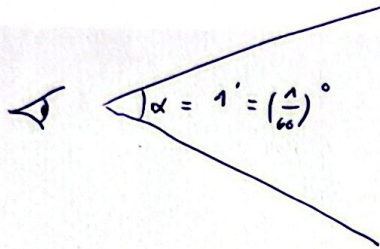
*** Les distances maximales et minimales de vision distincte de l'œil (normal) de l'observateur sont $\delta_{\max}$ infinie et $\delta_{\min} = 25 \text{ cm}$.

On dit que son punctum remotum (PR) est à l'infini et que son punctum proximum (PP) est à **25 cm**.

Limite de résolution angulaire de l'œil :

C'est l'angle limite α sous lequel deux points lumineux peuvent être vus séparés. Dans de bonnes conditions d'éclairement, l'œil distingue des détails d'environ **1 minute d'arc** : $\alpha = 1' = 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$.



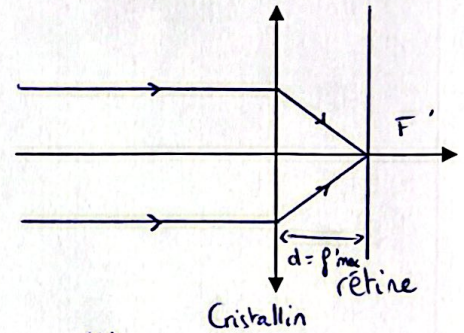


$\left(\frac{1}{60}\right)^\circ$	α_{rad}
180°	π

$$\alpha = \frac{\pi \times 1}{60 \times 180}$$

$$\alpha \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

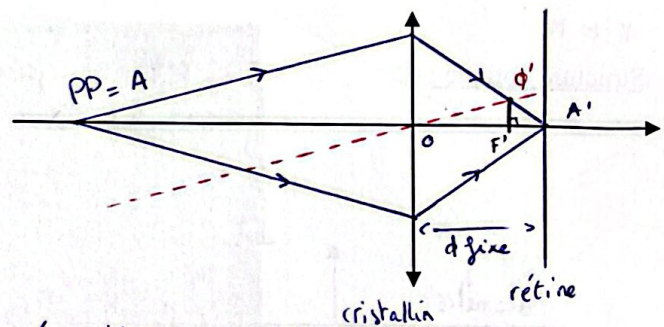
Oeil normal au repos :



$A \infty \xrightarrow{(L)} F'$
sur l'axe
= PR

Rq: d fixé

Oeil normal qui accommode :



Le cristallin se contracte, $f' \searrow$ de façon à obtenir A' sur la rétine
 $f'_{\text{min}} < d$

Rq: Instruments d'optique (lunette astro, viseur, microscope...) les RL doivent ressortir parallèles de façon à garder l'œil au repos.

2.) Les défauts de l'œil

Œil myope : Le cristallin est trop convergent. Il faut une lentille correctrice divergente.

Le PR est à distance finie, le PP se rapproche.

L'œil myope au repos ne voit pas net à l'∞

Le PR n'est pas à l'∞

Le PP est plus proche qu'un œil standard

$f'_{\max} < d$

L'œil est trop convergent

⇒ lentille divergente en correction

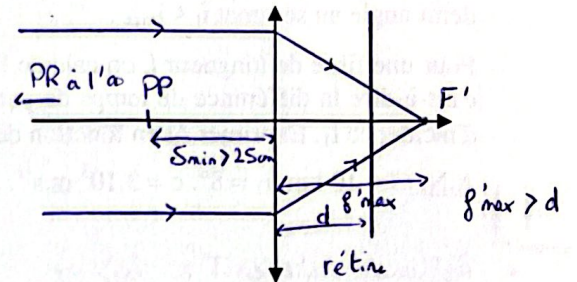
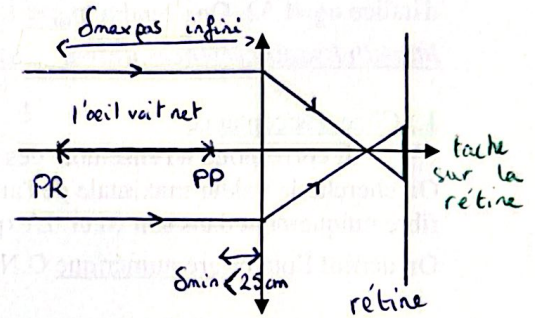
Œil hypermétrope : Le cristallin n'est pas assez convergent. Il faut une lentille correctrice convergente.

Le PP s'éloigne, le PR est à l'∞.

L'œil doit accommoder pour voir net à l'∞ ⇒ fatigue

Le PP est plus loin

→ lentille convergente en correction



Œil presbyte : Œil qui perd sa faculté d'accommodation.

Œil astigmat : Œil qui ne possède pas la symétrie de révolution. (f' n'est pas la même dans toutes les directions)

II La fibre optique à saut d'indice.

Une fibre optique est formée d'un cœur en verre d'indice $n_1=1,66$ entourée d'une gaine en verre d'indice $n_2=1,52$. On prendra $n_{\text{air}} = 1$.

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.php

1.) Cône d'acceptance :

Il correspond à l'ensemble des rayons qui seront transmis dans le cœur de la fibre.

On cherche la valeur maximale de l'angle d'incidence i_{max} pour laquelle la lumière est transmise le long de la fibre uniquement dans son cœur. L'exprimer en fonction de n_1 et n_2 .

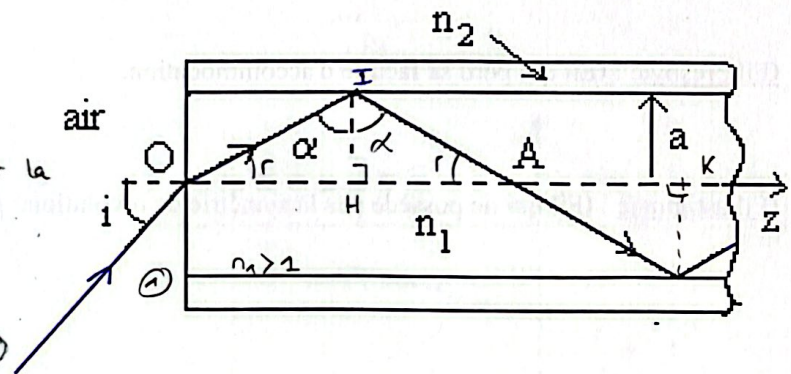
On définit l'ouverture numérique O.N. = $n_{\text{air}} \sin i_{\text{max}}$

2.) Dispersion intermodale :

Une impulsion lumineuse arrive à $t = 0$ au point O sous la forme d'un faisceau conique convergent de demi angle au sommet $i_1 < i_{\text{max}}$.

Pour une fibre de longueur l , on calcule l'élargissement temporel Δt de cette impulsion à la sortie de la fibre, c'est-à-dire la différence de temps de parcours entre un rayon se propageant suivant l'axe ($i=0$) et un rayon d'incidence i_1 . Exprimer Δt en fonction de l , n_1 , c et i_1 .

A.N. : $l = 10 \text{ km}$, $i_1 = 8^\circ$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.



• Réflexion totale en I : $\alpha > \alpha_c$

D'après les lois de Snell Descartes sur la refraction : $n \sin \alpha_c = n_2 \sin \frac{\pi}{2}$

$$\sin i_2 = \Rightarrow \sin \alpha_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha > \sin \alpha_c \Rightarrow \boxed{\sin \alpha > \frac{n_2}{n_1}} \quad (1)$$

• En O : Tailleur sur rayon transmis

$$\boxed{\sin i = n_2 \sin r} \quad (2)$$

• ΔOHI : $r + \frac{\pi}{2} + \alpha = \pi$

$$\Rightarrow r + \alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \boxed{r = \frac{\pi}{2} - \alpha} \quad (3)$$

$$\sin i \stackrel{(2)}{=} n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \Rightarrow \boxed{\sin i = n_1 \cos \alpha} \quad (4)$$

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$$

$$\textcircled{1} \sin \alpha > \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Rightarrow \sin^2 \alpha > \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\Rightarrow 1 - \sin^2 \alpha < 1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$\Rightarrow \cos^2 \alpha < \left(1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right)$$

$$\Rightarrow \cos \alpha < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$

$$\textcircled{4} \Rightarrow \frac{\sin i}{n_1} < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$

$$\Rightarrow \sin i < \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ avec } n_1 > n_2$$

$$\text{AN } \boxed{i < 41,85^\circ}$$

$$\sin i_{\text{max}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\text{ON} = n_{\text{air}} \sin i_{\text{max}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\text{où } n_{\text{air}} = 1$$

21 $\boxed{v = \frac{c}{n_1}}$ dans le cœur

• Temps parcourus pour un rayon suivant $i = 0$:

$$t_{(i=0)} = \frac{L}{v} = \left[\frac{L \times n_1}{c} \right] = \frac{10 \times 10^3 \times 1,66}{3 \times 10^8} = 5,5 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

• Temps parcourus pour un rayon suivant $i \neq 0$:

$$t_i = \frac{n_1}{c} (OI + IA + AT + TL + \dots)$$

$$\triangle OHI : \cos r = \frac{OH}{OI} \Rightarrow OI = \frac{OH}{\cos r}$$

$$t_i = \frac{n_1}{c} \left(\frac{OH}{\cos r} + \frac{HA}{\cos r} + \frac{AK}{\cos r} + \dots \right)$$

$$t_i = \frac{n_1}{c \times \cos r} \times L$$

$$\cos^2 r + \sin^2 r = 1 \Rightarrow \cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r}$$

$$② \sin i = n_1 \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{\sin i}{n_1}$$

$$\Rightarrow \cos r = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin i}{n_1} \right)^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{t_i = \frac{n_1 \times L}{c \times \sqrt{1 - \left(\frac{\sin i}{n_1} \right)^2}}}$$

$$\bullet \Delta t = t_i - t_{(i=0)}$$

$$\Delta t = \frac{n_1 L}{c} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin i}{n_1} \right)^2}} - 1 \right]$$

• Elargissement temporel :

$$\text{A.N. } \Delta t = 1,95 \times 10^{-9} \text{ s}$$

$$(\text{Débit}) \rightarrow \frac{1}{\Delta t} = 5,1 \times 10^6 \text{ informations/s}$$

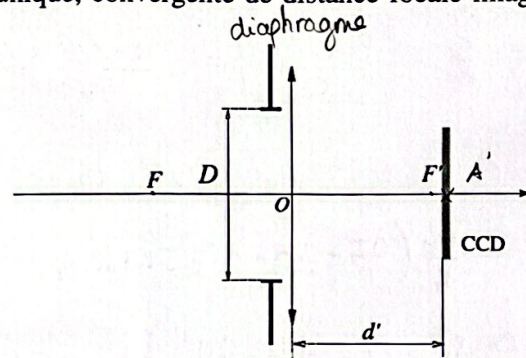
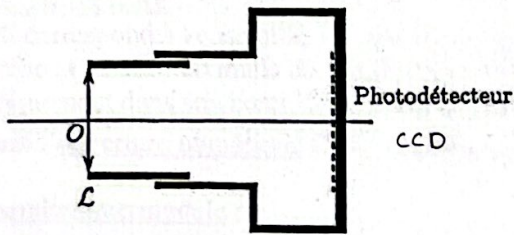
$$= 5,1 \times 10^6 \text{ flashes/s}$$

Débit insuffisant $\Rightarrow$ utiliser des fibres à gradient d'indice 

III L'appareil photographique

1.) Principe f' est fixée et d' varie

On modélise l'objectif de l'appareil photo par une lentille unique, convergente de distance focale image f' fixée. d' est variable.



Modélisation de l'appareil photographique

La quantité de lumière entrant dans l'appareil est limitée par un **diaphragme** qui constitue une ouverture quasi-circulaire de **diamètre D**. L'ouverture de ce diaphragme s'effectue pendant une durée τ appelée **durée de l'exposition ou temps de pose**. On définit aussi le **nombre d'ouverture** $N = \frac{f'}{D}$.

L'image est enregistrée à l'aide d'une plaque de capteur CCD qui transforme le signal lumineux reçu en signal électrique.

Le réglage de mise au point permet que l'image de l'objet photographié se forme sur la plaque CCD. Pour cela, on ajuste la distance d' entre l'objectif et la plaque CCD.

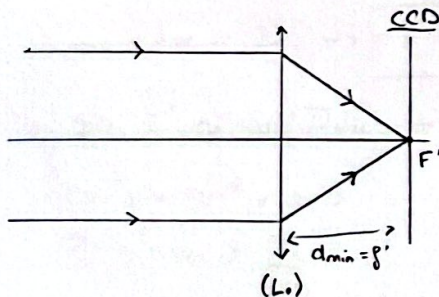
L'appareil est capable de faire la mise au point sur un paysage (à l'infini). **L'amplitude de déplacement du capteur CCD** par rapport au foyer image de la lentille L est $\Delta = 5\text{mm}$.

On prend $f' = 5\text{cm}$. Quel est l'objet A le plus proche que peut prendre l'appareil en photo ? Déterminer $d = \overline{AO}$ en fonction de Δ et de f' . Faire l'application numérique. Faire les deux constructions géométriques page suivante.

Pour la figure page suivante, on prendra : $f' = 6\text{cm}$, $\Delta = 4\text{cm}$, $D = 12\text{cm}$.

Photographie de paysage à l'infini : ****

Aco $\overline{(L_o)}$ F' $OF' = f' = 5\text{cm}$



Photographie du point A le + proche : ****

A $\overline{(L_o)}$ A'

$$\overline{FA} \times \overline{F'A'} = -f'^2$$

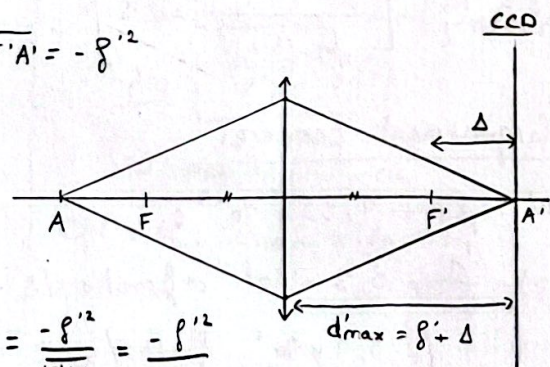
$$\Rightarrow \overline{FA} = \frac{-f'^2}{\overline{F'A'}} = \frac{-f'^2}{\Delta}$$

$$\text{AN : } \overline{FA} = -50\text{ cm}$$

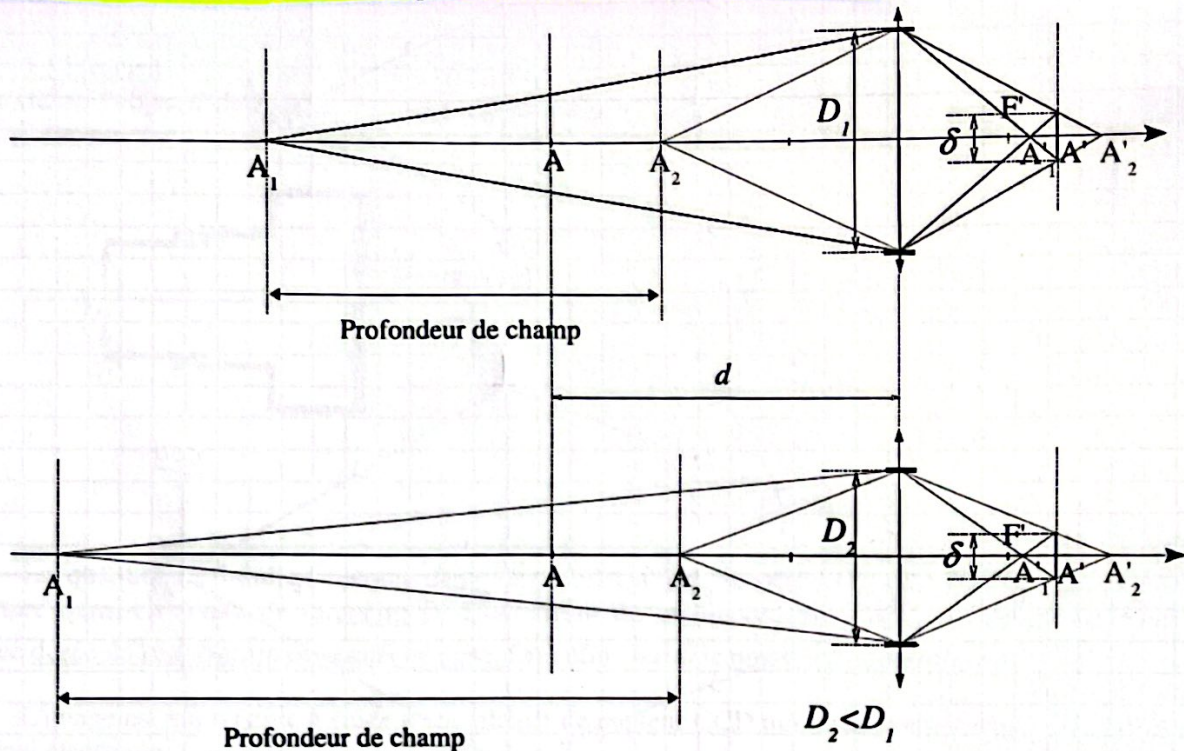
$$\overline{OA} = \overline{OF} + \overline{FA} \text{ où } \overline{OF} = -f'$$

$$\overline{OA} = -55\text{ cm}$$

La photo sera nette pour un objet en ∞ et 55 cm de O : Quand l'objet se rapproche, d' ?



La profondeur de champ augmente lorsque le diamètre du diaphragme diminue.

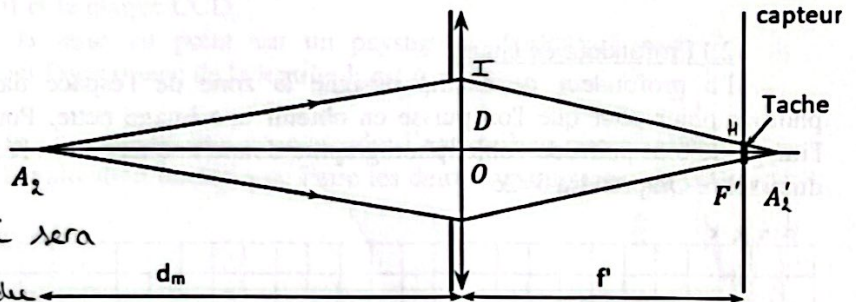


Pour une mise au point à l'infini

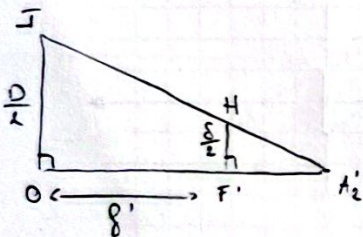
$$A_1 \propto \frac{(L_0)}{f'} \rightarrow F'$$

On cherche $A_2 \xrightarrow{(L_0)} A'_2$

A_2 est le point le plus proche qui sera photographié net (tache < taille du pixel)



Descartes: $\frac{1}{OA'_2} - \frac{1}{OA_2} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{OA_2} = \frac{1}{OA'_2} - \frac{1}{f'} \quad (1)$



Thales: $\frac{F'H}{OF'} = \frac{F'A'_2}{OA'_2} \Rightarrow \frac{\delta/2}{f'} = \frac{D/2}{OA'_2} \Rightarrow \frac{\delta}{D} = \frac{f'}{OA'_2} - 1$

$$\Rightarrow \frac{\delta}{D} = \frac{f'}{OA'_2} - 1$$

$$\Rightarrow \frac{f'}{OA'_2} = 1 - \frac{\delta}{D}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{OA'_2} = \frac{1}{f'} - \frac{\delta}{f'D} \quad (2)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{OA_2} = \frac{1}{f'} - \frac{\delta}{f'D} - \frac{1}{f'}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{OA_2} = -\frac{\delta}{f'D}$$

$$|d_m = \overline{A_2 O} = \frac{f'D}{\delta}|$$

Distance hyperfocale

Nombre d'ouverture: $N = \frac{f'}{D} \Rightarrow D = \frac{f'}{N}$

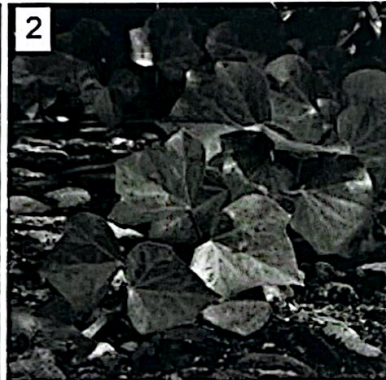
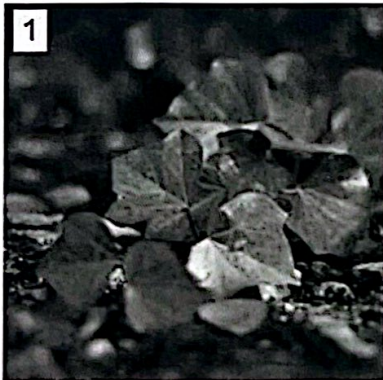
$$\Rightarrow d_m = \frac{f'^2}{\delta N}$$

l'appareil photo donne

une photo nette à l'infini à d_m

Remarque : Pour une mise au point à la distance d , la profondeur de champ s'écrit :

$$A_1 A_2 = 2\delta d^2 \frac{N}{f'^2} = 2\delta d^2 \frac{1}{f'D}$$



- profondeur de champ
 $pdf_1 < pdf_2$
 $D_2 < D_1$
- profondeur de champ plus grande pour un diamètre + petit
 $N_2 > N_1$
- Nombre d'ouvertures + grand

Ouverture $D = f'/N$: $f/2,8$

$f/16$

$$D_1 = \frac{8'}{2,8}$$

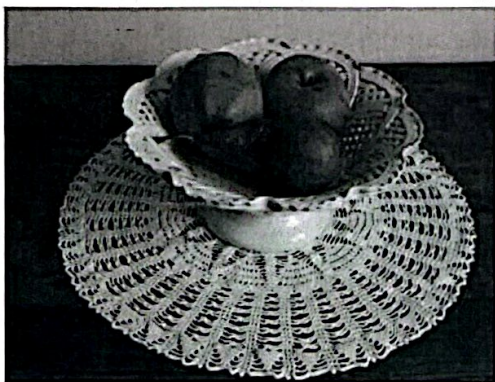
$$N_1 = 2,8$$

$$D_2 = \frac{8'}{16}$$

$$N_2 = 16$$

3.) Divers paramètres

a) Durée d'exposition



$F/2.8$ $1/30$ s



$F/2.8$ $1/200$ s

Photo de droite
sous exposée (marque
de lumière)
 $\Rightarrow$ durée d'exposition
trop petite

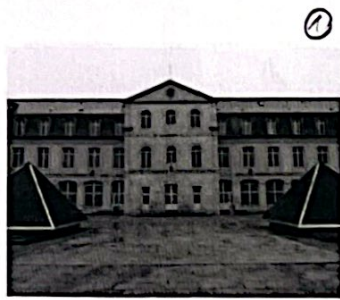
$Z_2 < Z_1$ pour un même diamètre

On peut vouloir z petit pour un sujet en mouvement

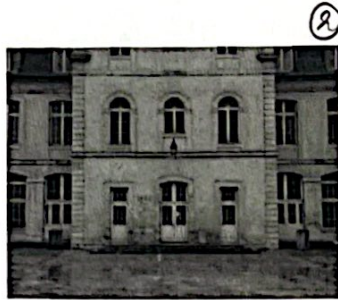
$\Rightarrow$ augmenter le diamètre d'ouverture

Δ { On multiplie par $\times 2$ la surface
du diaphragme, si on divise par 2 le temps d'exposition

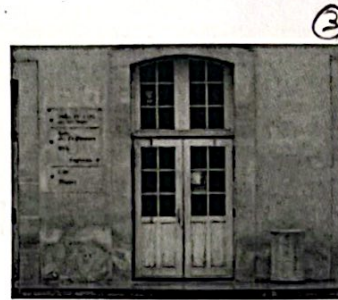
b) Distance focale



$f'_{\text{obj}} = 4,8 \text{ mm}$
1/200 s F5.6

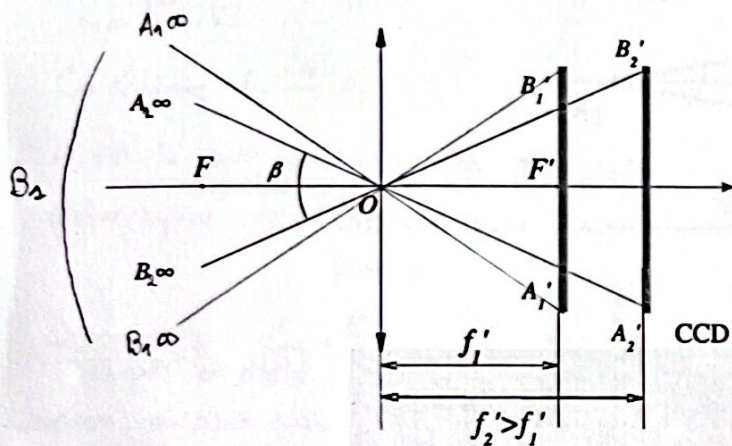


$f'_{\text{obj}} = 11,1 \text{ mm}$
1/200 s F5.0



$f'_{\text{obj}} = 38,8 \text{ mm}$
1/200 s F5.0

Plus f' est grande plus l'image est agrandie (zoomée), plus le champ angulaire diminue (on ne voit qu'une petite partie du sujet)



Quand $f'_2 > f'_1$
 $B_2 < B_1$
(champ angulaire)